



①⑨ BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENT- UND  
MARKENAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 198 37 365 A 1**

⑤① Int. Cl. 7:  
H 01 L 31/06

⑳ Aktenzeichen: 198 37 365.1  
㉔ Anmeldetag: 18. 8. 1998  
④③ Offenlegungstag: 2. 3. 2000

DE 198 37 365 A 1

⑦① Anmelder:  
Forschungszentrum Jülich GmbH, 52428 Jülich, DE

⑦② Erfinder:  
Meissner, Dieter, Dr., 52428 Jülich, DE; Rostalski,  
Jörn, 52441 Linnich, DE; Westphalen, Michael,  
41751 Viersen, DE; Kreibitz, Uwe, Prof. Dr., 66119  
Saarbrücken, DE

⑤⑥ Entgegenhaltungen:  
US 56 77 236 A  
US 54 82 570 A  
EP 08 31 536 A2  
JP 07-2 97 425 A

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

⑤④ Solarzelle mit Clustern im aktiven Bereich

⑤⑦ Erfindungsgemäß werden Cluster in den optischen Bereich einer Solarzelle eingebracht. Mittel sind vorhanden, die erzeugten Ladungsträgerpaare getrennt aus dem aktiven Bereich heraufzuführen. Die eingebrachten Cluster bewirken durch eine Resonanz zusätzliche Ladungsträgerpaare, die getrennt aus der Solarzelle herausgeführt, einen zusätzlichen elektrischen Strom bereitstellen. Es wird eine Solarzelle bereitgestellt, die einen verbesserten Wirkungsgrad gegenüber dem Stand der Technik aufweist, indem sie zusätzliche Wellenlängen für die Erzeugung von Ladungsträgerpaaren nutzt und diese in zusätzlichen elektrischen Strom umwandelt.

DE 198 37 365 A 1

BEST AVAILABLE COPY

Die Erfindung betrifft eine Solarzelle mit den Merkmalen des Oberbegriffs von Anspruch 1. Bei einer Solarzelle wird durch Absorption elektromagnetischer Strahlung ein elektrischer Strom erzeugt. Der erzeugte Strom wird Photostrom genannt.

Aus der Druckschrift DE 196 40 065 A1 ist eine solche Solarzelle bekannt, bei der in einem Farbstoff Photonen in einen elektrischen Strom umgewandelt werden.

Einfallende Photonen erzeugen in der aktiven Zone (aktiver Bereich) einer Solarzelle eine Ladungstrennung. Infolge der Ladungstrennung entsteht ein Ladungsträgerpaar. Wird ein Ladungsträger des Ladungsträgerpaares, also zum Beispiel ein Elektron, aus der aktiven Zone herausgeleitet, so fließt ein elektrischer Strom. Das getrennte Herausleiten von Ladungsträgern eines Ladungsträgerpaares gelingt durch Vorsehen eines geeigneten elektrischen Feldes. Ein geeignetes elektrisches Feld herrscht in Solarzellen zum Beispiel infolge eines bereitgestellten p-n-Kontaktes mit einer Verarmungszone zwischen dem n- und dem p-Leiter. Die Verarmungszone bildet dann die aktive Zone.

Der Wirkungsgrad, einfallende Photonen zu absorbieren und in Ladungsträgerpaare zu überführen, hängt von der Wellenlänge der Photonen ab. In Abhängigkeit von der Wellenlänge weist der Wirkungsgrad lokale Minima, lokale Maxima oder Flanken auf.

Aus der Druckschrift (M. Quinten, O. Stenzel, A. Stendal, C. Borcyskowski, J. Opt. 28 (1997) 249-251) ist bekannt, Cluster in Bereiche außerhalb der aktiven Zone einer Solarzelle einzubringen und so den Wirkungsgrad zu steigern. Diese Steigerung findet jedoch nur bei Wellenlängen statt, bei denen ohnehin ein guter Wirkungsgrad vorliegt.

Aufgabe der Erfindung ist die Bereitstellung einer Solarzelle mit gutem Wirkungsgrad.

Die Aufgabe wird durch eine Vorrichtung mit den Merkmalen des Hauptanspruchs gelöst. Vorteilhafte Ausgestaltungen ergeben sich aus den rückbezogenen Ansprüchen.

Die anspruchsgemäße Solarzelle weist einen aktiven Bereich aus, in dem durch einfallende Photonen Ladungsträgerpaare erzeugt werden. Ein Ladungsträgerpaar besteht aus einem positiven und einem negativen Ladungsträger. Mittel sind vorhanden, um die Ladungsträger aus dem aktiven Bereich so heraus zuführen, daß ein elektrischer Strom fließt. Negative Ladungsträger wie Elektronen werden dann getrennt von positiven Ladungsträgern aus dem aktiven Bereich herausgeführt und/oder umgekehrt. Innerhalb des aktiven Bereiches befinden sich Cluster.

Beispiele für Mittel, die die Ladungsträger aus dem aktiven Bereich zur Erzeugung eines elektrischen Stroms heraus führen, sind geeignet angelegte elektrische Felder. Geeignet angelegte elektrische Felder bei einer Solarzelle können zum Beispiel durch einen p-n Kontakt mit einer Verarmungszone zwischen dem n- und dem p-Leiter oder durch einen Schottky-Kontakt oder durch molekulare Anordnungen mit geeignet liegenden Energiezuständen und/oder Fermi-niveaus bereitgestellt werden.

Die Mittel, um die Ladungsträger aus dem aktiven Bereich herauszuführen, bezwecken in Kombination mit dem aktiven Bereich die Bereitstellung einer elektrischen Spannung.

Unter Clustern im Sinne des Anspruchs wird eine Gruppe von drei oder mehr Atomen oder Molekülen verstanden, von denen jedes mit mindestens zwei anderen Atomen oder Molekülen dieser Gruppe chemisch verknüpft ist. Die Verknüpfung kann aus metallischen, ionischen, kovalenten oder van der Waals-artigen Bindungen bestehen. Die Cluster weisen einen Absorptionspeak auf. Ein Absorptionspeak liegt vor,

wenn die Photonenabsorption in Abhängigkeit von der Wellenlänge ein lokales Maximum aufweist. Eine makroskopisch große Metallschicht weist im Unterschied zum anspruchsgemäßen Cluster keinen lokalen Absorptionspeak auf.

Anspruchsgemäße Cluster bestehen z. B. aus 5000 Goldatomen oder 3000 Galliumarsenidmolekülen.

Cluster im aktiven Bereich einer Solarzelle bewirken im Wellenlängenbereich des Absorptionspeaks eine zusätzliche Photonenabsorption, die im Gegensatz zu einer ausgedehnten, makroskopisch großen Metallschicht zu einer Resonanz führt. Hierdurch werden zusätzliche Ladungsträgerpaare in der aktiven Zone erzeugt. Der Wirkungsgrad der Solarzelle wird so gesteigert.

Eine vorteilhafte Ausgestaltung der Solarzelle nach Anspruch 2 weist Cluster auf, die kleiner als 100 nm, insbesondere kleiner als 10 nm sind. Cluster in dieser Größenordnung bewirken einen ausgeprägten Absorptionspeak und damit eine verbesserte Resonanz. Eine weiter gesteigerter Wirkungsgrad der Solarzelle ist die Folge.

Vorteilhaft enthält die Solarzelle nach Anspruch 3 Cluster, die aus wenigstens 100 insbesondere aus wenigstens 1000 Atomen bestehen. Ein typischer Cluster enthält z. B. 10 000 Atome.

Ist die Anzahl der Atome eines Clusters zu gering, so wird der Absorptionspeak sehr schmal. Dies führt nachteilhaft zu einer Absorption in einem sehr kleinen Wellenlängenbereich. Daher sollte der Cluster aus mindestens 100, vorzugsweise aus wenigstens 1000 Atomen bestehen, um einen Absorptionspeak über einen breiten Wellenlängenbereich zu erhalten.

Eine vorteilhafte Solarzelle nach Anspruch 4 enthält Cluster im aktiven Bereich, deren Absorptionspeak in den Wellenlängenbereich fällt, bei dem der Wirkungsgrad der Solarzelle ohne Cluster ein lokales Minimum oder den Anstieg einer Absorptionsflanke aufweist.

Ein Beispiel für eine Solarzelle nach Anspruch 4 ist eine Schottky-Kontakt-Solarzelle mit Silberclustern im aktiven Bereich, die einige Nanometer groß sind. Die Solarzelle besteht aus ITO (Indium/Zinnoxid)-beschichtetem Glas mit aufgedampfter Zink-Phthalocyanin-Schicht. Diese weist ohne die Cluster ein lokales Absorptionsminimum und damit ein lokales Photostromminimum im Bereich von 410-520 nm auf. Die Silbercluster weisen einen lokalen Absorptionspeak im vorgenannten Bereich auf. Daher wird Licht auch im Wellenlängenbereich um 470 nm mit gutem Wirkungsgrad in einen Photostrom umgewandelt. Ein lokales Maximum des Photostroms im Bereich um 450 nm ist die Folge.

Eine Solarzelle, die Cadmiumsulfid als Halbleiter enthält, stellt ein weiteres Beispiel dar. Hier gibt es in Abwesenheit der anspruchsgemäßen Cluster eine Absorptionsflanke, die bei 520 nm steil abfällt. Galliumarsenidcluster, die in den aktiven Bereich eingebracht werden, bewirken einen zusätzlichen elektrischen Strom bei Wellenlängen um 600 nm. Dieser Wellenlängenbereich konnte bislang nicht genutzt werden. Der Wirkungsgrad wird somit weiter gesteigert.

Eine Solarzelle nach Anspruch 5 weist vorteilhaft Cluster im aktiven Bereich auf, deren Absorptionspeak im Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes liegt. Die Cluster können aus Silber oder Gold bestehen.

In einem Beispiel umfaßt die Solarzelle ein aus ITO (Indium/Zinnoxid)-beschichtetem Glas und eine aufgedampfte Zink-Phthalocyanin-Schicht. Diese weist ein Absorptionsminimum im Wellenlängenbereich von 410-520 nm auf. Durch das anspruchsgemäße Vorsehen von einige Nanometer großen Silberclustern werden Photonen aus dem sichtbaren und damit energiereichen Wellenlängenbereich verstärkt

im Bereich um 450 nm in einen Photostrom umgewandelt. Der Wirkungsgrad wird so weiter verbessert.

Es hat sich gezeigt, daß der Wirkungsgrad insgesamt um wenigstens 10% bis 15% verbessert werden kann.

Im Folgenden wird die Erfindung anhand eines Beispiels näher erläutert.

Es zeigen

Fig. 1 Photonenabsorptionsspektrum in Abhängigkeit von der Wellenlänge für eine Solarzelle mit Silberclustern im aktiven Bereich (5 nm Ag + 200 nm ZnPc) im Vergleich zu einer konventionellen Solarzelle nach dem Stand der Technik (200 nm ZnPc),

Fig. 2 Photostromspektrum in Abhängigkeit von der Wellenlänge für eine konventionelle Solarzelle,

Fig. 3 Photostromspektrum in Abhängigkeit von der Wellenlänge für eine Solarzelle mit Silberclustern im aktiven Bereich.

Es wurden organische Schottky-Kontakt Solarzellen eingesetzt. Jede besteht aus Glas, welches mit ITO (Indium/Zinnoxid) beschichtet ist. Die Beschichtung hat Kontakt zu einer ca. 200 nm dicken aufgedampften Schicht aus Zink-Phthalocyanin. In der aktiven Schicht befinden sich ca. 5 nm große Silbercluster, welche durch Aufdampfen einer ca. 1,3 nm dicken Silberschicht, die bei 180 Grad Celsius für 10 Minuten getempert wurde, hergestellt wurden.

In Fig. 1 ist die Abhängigkeit der Photonenabsorption  $\alpha$  von der Wellenlänge  $\lambda$  bzw. von der Photonenenergie  $E$  für eine erfindungsgemäße Solarzelle (obere Kurve, 5 nm Ag + 200 nm ZnPc) im Vergleich zu einer konventionellen Solarzelle ohne Cluster (untere Kurve, 200 nm ZnPc) dargestellt. Die konventionelle Solarzelle ohne Cluster weist ein lokales Absorptionsminimum im Wellenlängenbereich von 410–520 nm auf. Bei der Solarzelle mit den erfindungsgemäßen Silberclustern zeigt sich in diesem Wellenlängenbereich ein lokales Absorptionsmaximum. Die Lichtabsorption wird folglich durch die Cluster deutlich gesteigert.

Die Absolutwerte sind hier sowie bei den übrigen Figuren kein Maß für die Steigerung, da an verschiedenen, nur vom Typ her vergleichbaren Solarzellen gemessen wurde. Zwei vom Typ her gleiche Solarzellen weisen stets voneinander abweichende Wirkungsgrade auf. Daher ist nur der qualitativ veränderte Kurvenverlauf ein Maß für die Verbesserung.

Der zugehörige Photostrom  $I$  der konventionellen, clusterlosen Solarzelle in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$  ist in Fig. 2 dargestellt. Der Photostrom weist analog ein Minimum im Bereich von 420–520 nm auf.

Fig. 3 zeigt den Photostrom der Solarzelle mit den erfindungsgemäßen Silberclustern in Abhängigkeit von der Wellenlänge  $\lambda$ . Hier tritt nun ein lokales Maximum des Photostroms im Wellenlängenbereich um 450 nm auf.

Schätzungsweise wird der Wirkungsgrad durch das Einbringen von ca. 5 nm großen Silberclustern in den aktiven Bereich um 15% gesteigert.

4. Solarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Absorptionspeak der Cluster in den Wellenlängenbereich fällt, bei dem die optische Schicht der Solarzelle ohne Cluster ein Absorptionsminimum oder einen Anstieg einer Absorptionskante aufweist.

5. Solarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der der Absorptionspeak der Cluster in den Wellenlängenbereich des sichtbaren Lichtes fällt.

Hierzu 3 Seite(n) Zeichnungen

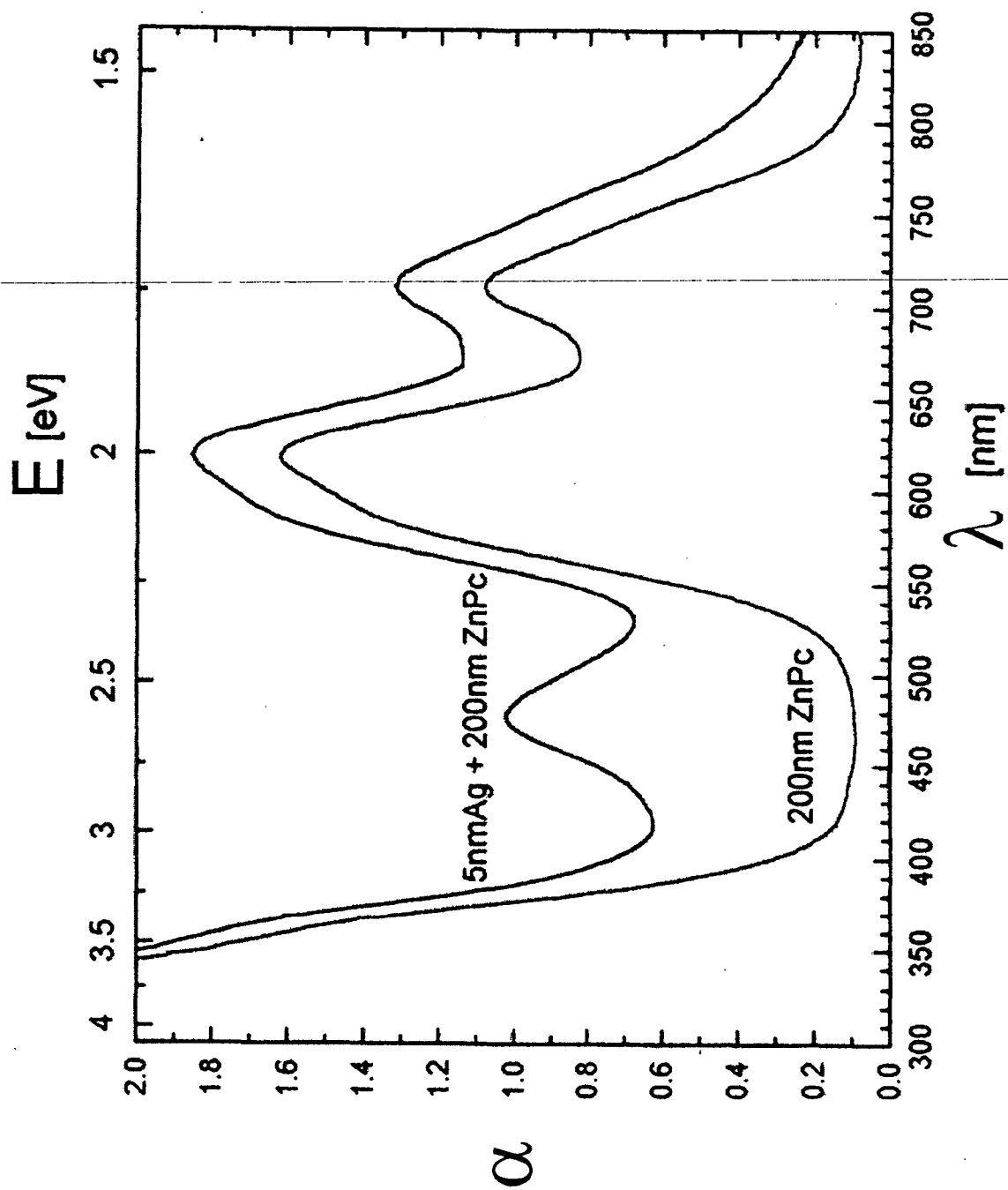
#### Patentansprüche

##### 1. Solarzelle mit

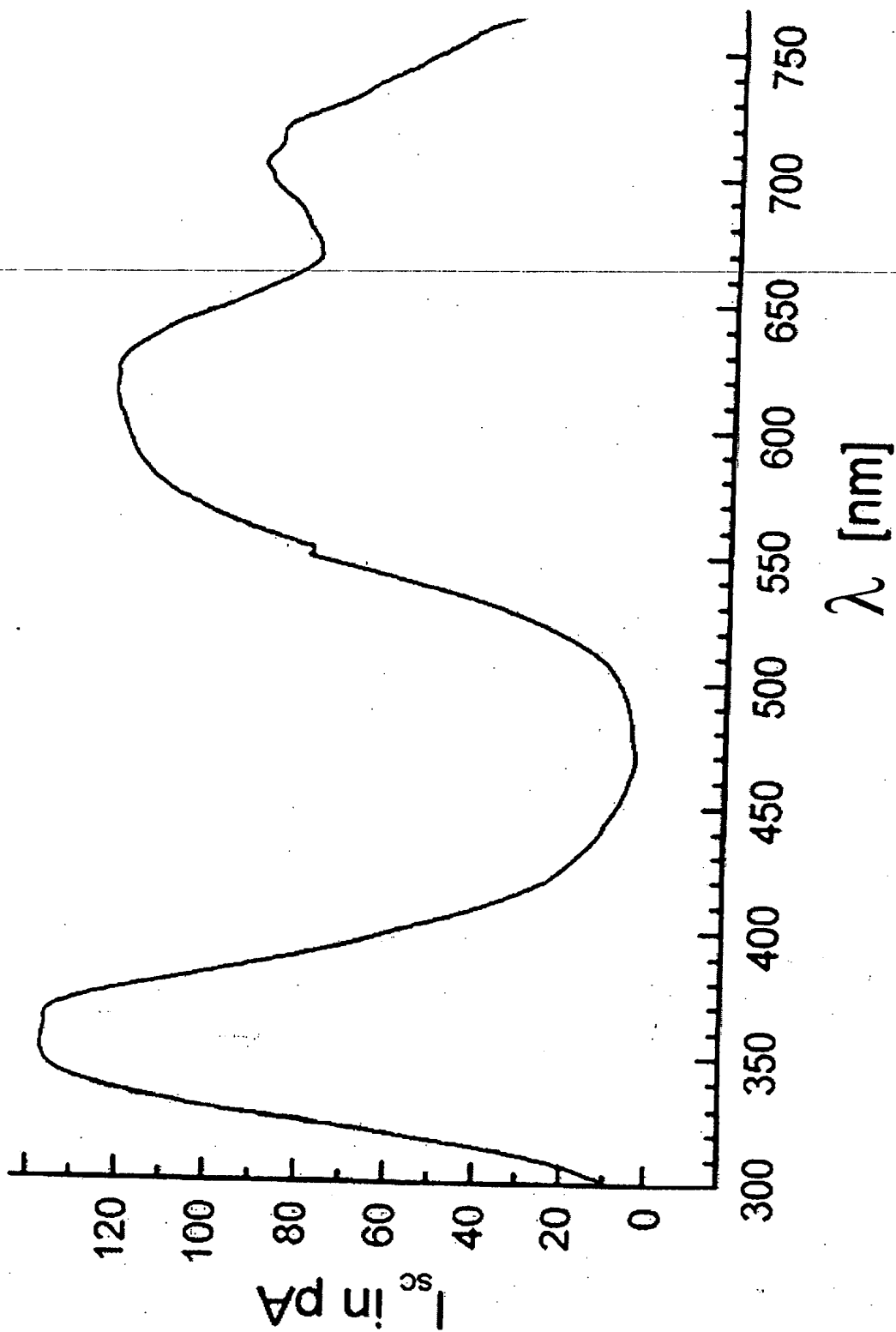
- einem aktiven Bereich, in dem durch einfallende Photonen Ladungsträger erzeugt werden,
- Mitteln, um die Ladungsträger aus dem aktiven Bereich herauszuführen, **gekennzeichnet durch** Cluster, die sich in dem aktiven Bereich befinden.

2. Solarzelle nach vorhergehendem Anspruch 1, bei der die Cluster kleiner als 100  $\mu\text{m}$ , insbesondere kleiner als 10  $\mu\text{m}$  sind.

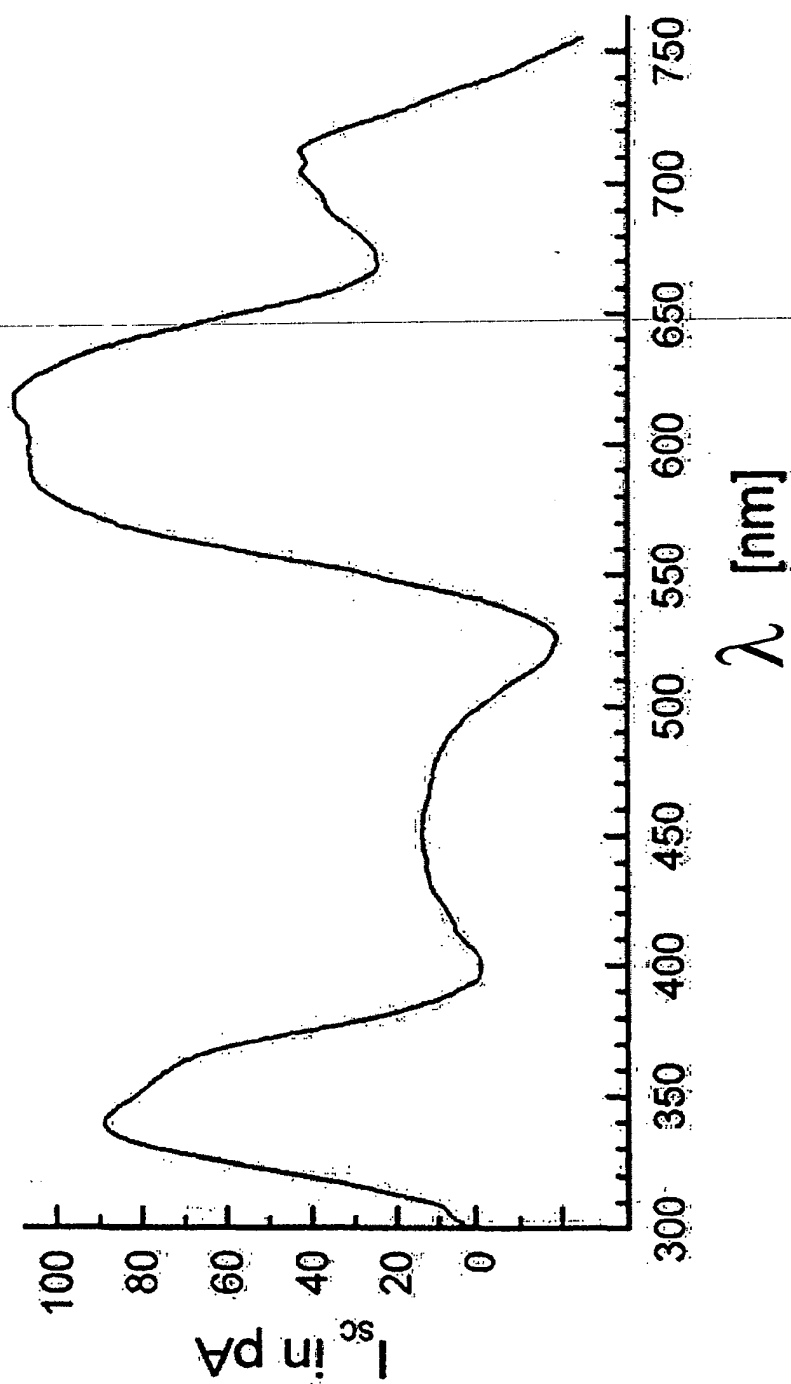
3. Solarzelle nach einem der vorhergehenden Ansprüche, bei der die Cluster aus wenigstens 100 Atomen bestehen.



Figur 1



Figur 2



Figur 3